

算力电力协同发展研究报告

(2025 年)

中国信息通信研究院云计算与大数据研究所

2025年5月

版权声明

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。
转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应
注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院
将追究其相关法律责任。

前 言

算力作为数字经济时代的新质生产力，已成为推动经济社会发展的核心力量，对现代生产和生活产生了深远影响。在碳达峰碳中和战略背景下，我国积极推动算力的绿色低碳发展，并促进能源电力领域的清洁转型。在此契机下，算力电力协同成为新时代发展的必然趋势。

为推动算力电力协同的科学发展，助力算力产业绿色低碳转型和新型电力系统构建，中国信息通信研究院云计算与大数据研究所编制《算力电力协同发展研究报告（2025 年）》。报告剖析了算力电力协同发展的背景与需求，预测了未来算力用能的发展趋势和特征，阐述了算力电力协同的内涵、要素与发展阶段，探讨了算电协同发展所面临的挑战，提出了算电协同发展的六大关键举措，最后从政策支持、标准制定、产业协同、市场机制等维度，提出了推动我国算力电力协同高质量发展的策略建议。

算力电力协同相关技术和产业正处于快速发展阶段，本报告在编写过程中，查阅和参考了行业相关材料，并对众多算力和电力产业链核心企业展开调查研究，感谢业界对本报告的支持！如对本报告有建议或意见，请联系云计算与大数据研究所数据中心团队：

dceco@caict.ac.cn。

目 录

一、算力电力协同是新时代发展的内在要求.....	1
（一）顶层设计勾勒我国算力电力协同发展蓝图.....	1
（二）算力电力协同是算力产业低碳转型的迫切需求.....	3
（三）算力电力协同是构建新型电力系统的重要选择.....	6
二、算力电力协同内涵、要素与发展阶段.....	8
（一）算力电力协同的内涵.....	8
（二）算力电力协同的要素.....	10
（三）算力电力协同的发展阶段.....	11
三、算力电力协同发展面临的挑战.....	13
（一）算力需求及用电集聚化发展，为局部电网带来压力.....	13
（二）算力供电高标准需求与负荷低负载运行现状的不平衡.....	14
（三）绿色电力供不应求，算力企业参与绿电交易难点多.....	15
（四）绿电直供有待提速，源网荷储应用开发不足.....	16
四、算力电力协同发展关键举措.....	16
（一）源荷互动，促进电力平衡消纳低碳转型.....	17
（二）储荷互动，挖掘算力中心回馈电网潜力.....	19
（三）网荷协同，全面提升供配用电安全可靠.....	21
（四）源网荷储，推动算力电力深度一体融合.....	22
（五）算力负载调度，精准匹配算电时空供需.....	24
（六）绿电绿证交易，提升算力中心绿电应用.....	26
五、算力电力协同发展建议.....	28
（一）强化算电协同政策支撑.....	28
（二）构建算电协同标准体系.....	28
（三）培育算电协同产业生态.....	29
（四）营造公平高效市场环境.....	30

图 目 录

图 1 全国数据中心用电量占比4

图 2 我国算力中心用电需求预测5

图 3 算力电力协同发展体系9

图 4 算力电力协同发展阶段 11

图 5 2023 年我国算力中心机架布局 14

图 6 源网荷储一体化原理图22

表 目 录

表 1 算力电力协同相关政策情况2

一、算力电力协同是新时代发展的内在要求

算力作为数智时代的新质生产力，是推动数字经济发展的的重要引擎，正以前所未有的广度和深度向经济社会各领域渗透融合。电力作为算力发展的重要基础资源，深刻影响着算力发展的规模和成本。我国在发展经济的同时，正积极推动环境质量改善与温室气体减排工作，大力发展非化石能源，加快构建新型电力系统，推动电力来源清洁化。算力电力协同既是时代机遇之需，又是产业变革之要，将为庞大的算力需求提供充裕的低碳电力，为新型电力系统建设提供高效的算力支撑，对于促进我国数字经济的发展和能源转型具有重要意义。

（一）顶层设计勾勒我国算力电力协同发展蓝图

我国持续出台算力电力协同发展相关政策，算电协同逐步成为重点发展任务。我国高度重视数字经济的高质量发展，出台了一系列推动算力和电力协同发展的政策文件，为两大产业创新升级提供了指引。2023 年 12 月，国家发展改革委等四部门发布《关于深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》，文件首次提及“算力电力协同”，将创新算力电力协同机制列为重点任务。在国家“双碳”战略目标的引领下，算力与电力的协同发展更加注重节能减排和绿色可持续。2024 年 7 月，国家发展改革委等四部门印发《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》，提出到 2025 年底将初步形成算力电力双向协同机制。同月，国家发展改革委等三部门印发《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》，计划实施一批算力与电力协同项目，提出整合源荷储资源，提升算力与电力协同运行水平，提高数

据中心绿电占比等一系列具体举措。我国算力电力协同相关体制机制持续完善，算力电力协同相关政策情况见表 1。

表 1 算力电力协同相关政策情况

时间	政策名称	具体内容
2023 年 12 月	《关于深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》	<p>统筹推进算力与绿色电力的一体化融合 创新算力电力协同机制：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 支持国家枢纽节点地区利用“源网荷储”等新型电力系统模式。 • 面向国家枢纽节点内部及国家枢纽节点之间开展算力电力协同试点，探索分布式新能源参与绿电交易，提升数据中心集群电力供给便利度，充分利用数据中心闲时电力资源，降低用电损耗及算力成本。 • 国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过 80%。
2024 年 7 月	《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》	<p>提升可再生能源利用水平：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 将新建及改扩建数据中心可再生能源利用目标和方案作为节能审查重要内容，逐年提升新建数据中心项目可再生能源利用率。 • 在具备稳定支撑电源和灵活调节能力的基础上，引导新建数据中心与可再生能源发电等协同布局，提升用电负荷调节匹配能力。 • 鼓励数据中心通过参与绿电绿证交易等方式提高可再生能源利用率。 • 鼓励有关地区探索开展数据中心绿电直供。 • 到 2025 年底，算力电力双向协同机制初步形成，国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过 80%。
2024 年 7 月	《加快构建新型电	实施一批算力与电力协同项目：

	力系统行动方案（2024—2027 年）》	<ul style="list-style-type: none"> • 统筹数据中心发展需求和新能源资源禀赋，科学整合源荷储资源，开展算力、电力基础设施协同规划布局。 • 探索新能源就近供电、聚合交易、就地消纳的“绿电聚合供应”模式。 • 整合调节资源，提升算力与电力协同运行水平，提高数据中心绿电占比，降低电网保障容量需求。 • 探索光热发电与风电、光伏发电联营的绿电稳定供应模式。 • 加强数据中心余热资源回收利用，满足周边地区用热需求。
--	-----------------------	---

来源：国家发改委等

（二）算力电力协同是算力产业低碳转型的迫切需求

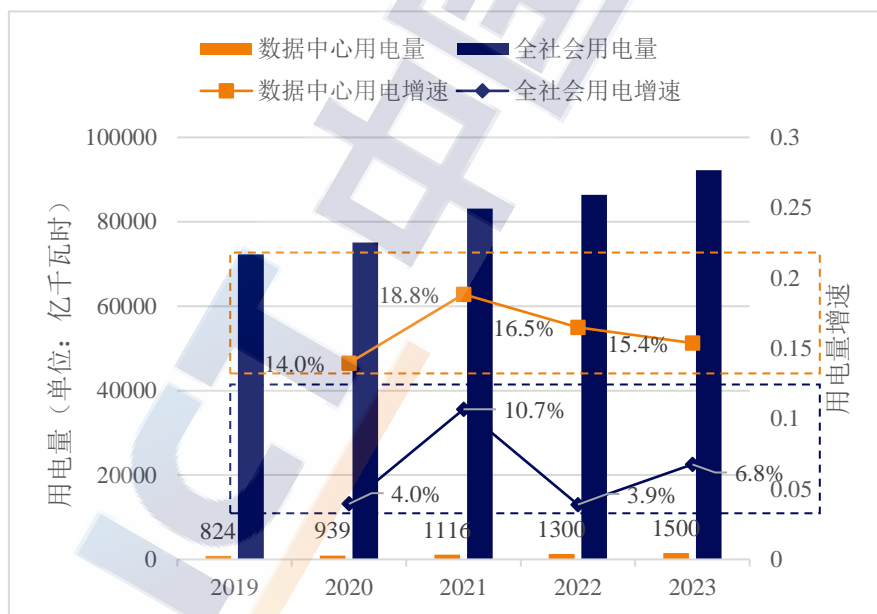
大模型训练使得算力需求激增，算力能耗不断攀升。近年来，训练大模型所使用的数据量和参数规模呈现指数级增长，带来智能算力需求的爆炸式突破，算力用能急剧增长。据斯坦福人工智能研究所数据显示，OpenAI 训练一次 GPT-3 的耗电量为 128.7 万千瓦时¹，而随着 GPT-4 的参数翻倍，其能耗也会大幅增加。我国作为人工智能应用大国，算力创新应用场景和产品形态正不断涌现。IDC 调研测算显示，35%的中国企业正在做大模型的初步测试和概念验证，24%的中国企业已经在生成式 AI 方面投入了大量资金；到 2025 年，一半以上的中国 500 强企业将使用人工智能和自动化技术来检测和自动处理数据²。

¹ Nestor Maslej et al., *The AI Index 2023 Annual Report*, AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2023.

² IDC, 钉钉. 2024 AIGC 应用层十大趋势。

我国企业积极布局智算应用的发展趋势，进一步引发业界对算力能耗问题的关注。

算力中心用电增速远高于全社会用电量增速，算力用电占全社会用电量的比例持续上升。据中国信息通信研究院测算，2023 年全国数据中心用电量为 1500 亿千瓦时，同比增长 15.4%，而同期全社会用电量增速为 5.8%，算力中心用电量增速远高于全社会用电量增速，具体数据详见图 1。2023 年，我国算力中心耗电量占全社会用电量的比例为 1.6%，尽管目前我国算力中心用电量在全社会用电量中所占比例不大，短期内仍在电力系统可支持范围内，但算力用电占全社会用电量的比例不断增加，其快速增长的趋势不容忽视。

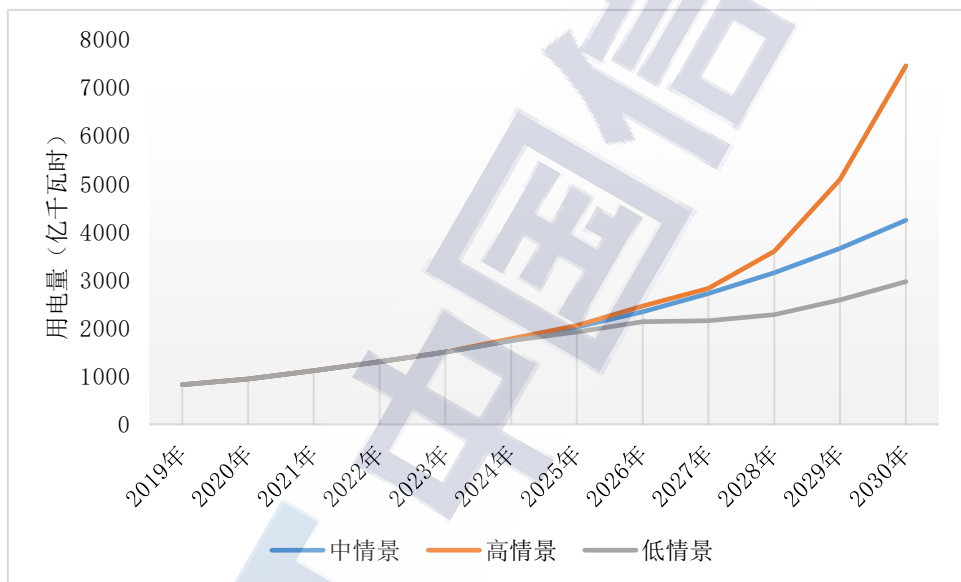


来源：国家能源局、中国信息通信研究院

图 1 全国数据中心用电量占比

人工智能是算力增长的主要驱动力，未来人工智能广泛应用后或将消耗更多能源。中国信息通信研究院对我国算力用电需求进行了多

情景预测，基于人工智能技术的发展轨迹，构建了高、中、低三种差异化发展情景：高情景下，人工智能爆发增长，2030 年我国算力中心用电或超过 7000 亿千瓦时，占全社会用电量 5.3%；中情景下，人工智能匀速增长，2030 年我国算力中心用电或超过 4000 亿千瓦时，占全社会用电量 3.0%；低情景下，人工智能慢速增长，2030 年我国算力中心用电将达到 3000 亿千瓦时左右，占全社会用电量 2.3%。具体数据见图 2。



来源：中国信息通信研究院

图 2 我国算力中心用电需求预测

应用绿色电力是算力企业低碳转型的关键，预计未来绿电需求将大幅增加。2023 年 12 月，国家发展改革委等四部门发布《关于深入实施“东数西算”工程 加快构建全国一体化算力网的实施意见》，提出到 2025 年底国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过 80%的目标，加快了数据中心应用绿电的步伐。同时，多家互联网和 IDC 企业陆续发布其碳中和目标，承诺将于 2030 年实现 100%使用可再生能源电

力。根据各企业最新 ESG 报告数据，2023 年，阿里巴巴自建数据中心的清洁能源占比为 53.9%³，万国数据可再生能源使用比例为 38%⁴，腾讯可再生电力使用比例为 12.4%⁵。这些数据显示，尽管与 100% 使用可再生能源的目标还有一定的差距，但业界正在努力扩大绿色电力的应用。未来随着绿电消费责任主体的进一步明确，将激发巨大的潜在绿电需求。

充足可靠、安全稳定、经济节约、绿色低碳成为算力对电力的核心诉求。作为高能耗的基础设施，算力中心的正常运行首先依赖于足量充裕和安全稳定的电力供应，任何突发性停电都可能导致数据丢失或服务中断，造成难以估量的经济损失。同时，电力成本占算力中心运营支出的主要部分，用电成本的优化直接关系到算力产业的经济效益。在双碳战略背景下，加大可再生能源电力应用力度，推动算力产业绿色低碳转型，已成为行业发展的必然趋势。

（三）算力电力协同是构建新型电力系统的重要选择

当前，我国积极推进新型电力系统建设，以新能源为供能主体是新型电力系统的主要特征。截至 2024 年底，全国可再生能源发电装机达到 18.89 亿千瓦，约占我国发电总装机的 56%；2024 年全国可再生能源发电量达 3.46 万亿千瓦时，约占全部发电量的 35%。其中，风电太阳能发电量合计达 1.83 万亿千瓦时，同比增长 27%。据国家电网预测，未来新型电力系统的能源构成约为 30~40 亿千瓦常规电源

³ 阿里巴巴. 环境、社会 and 治理报告(2023)。

⁴ 万国数据. 2023 年环境、社会及管治报告。

⁵ 腾讯. 腾讯可持续社会价值报告(2023)。

和 70 亿千瓦的集中式风光电站、分布式光伏、海上风电等新能源，可再生能源供电占比预计将超过 70%。电力系统将由可控连续出力的煤电装机占主导，向强不确定性、弱可控出力的新能源发电装机占主导转变。

新能源装机和发电量的快速增长持续推高消纳压力。尽管新能源发电占比不断提高，电力调度运行的机理并没有发生本质性的改变，电网调节和安全裕度日益减小，消纳矛盾将日益严重。受电网传输通道不足、安全运行需要或本地负荷需求小等因素影响，部分省份存在弃风弃光问题，全国新能源消纳监测预警中心数据显示，2024 年，西藏、青海、甘肃光伏发电利用率分别仅为 68.6%、90.3%、91.3%，西藏、河北、青海风电利用率为 83.0%、92.6%和 92.8%。随着未来新能源逐渐成为供能主体，新能源发电消纳问题的紧迫性日益凸显。

新型电力系统的调度模式将由源随荷动向源网荷储多元互动转变。受天气因素影响，新能源出力具有波动性和不确定性，且新能源发电逐时变化曲线与全社会负荷需求曲线不一致，因此某一时刻系统中所有新能源机组出力与系统总用电负荷之比也存在较大波动。国际能源署分析表明，当可再生能源发电占比超过 15%时，电网灵活性需求大幅增加；当可再生能源发电占比超过 25%时，电网稳定性将面临挑战⁶。因此，新型电力系统的运行特性将由源荷实时平衡、大电网一体化控制模式，逐步转变为源网荷储实时平衡、大电网与微电网协同控制模式，这一转变对负荷侧的调节能力提出了更高的要求。同时，电

⁶ International Energy Agency. *Getting Wind and Sun onto the Grid*.

力系统也面临着大规模算力负荷接入的挑战，需要妥善应对以保障电网安全稳定运行。

算力负载具有灵活调度的潜力，为新型电力系统的运行和优化提供了关键的消纳和调节资源。算力中心的计算任务可以分为延迟敏感型和延迟容忍型两类，延迟敏感型负载要求在任务到达时立刻处理，如金融交易、实施支付、驾驶导航等，而延迟容忍型负载则对延时有一定的容忍能力，仅要求在截止时间前完成处理，如图像处理、计算密集型任务等。延迟容忍型的算力负载具有优异的时空调节性能，空间调度方面，可将计算任务转移至风光资源丰富地区的算力中心执行，实现可再生能源的就近就地消纳；时间调度方面，可将计算任务从电力需求高峰时段转移至低谷时段，为电网提供削峰填谷的潜力。同时，算力中心内部配置大量长期处于备用的柴油发电机、不间断电源（UPS）、蓄冷装置和中低温余热，均具备可观的灵活性调节潜力。因此，算力中心正逐渐成为可再生能源消纳的关键力量和电网调峰的重要资源。

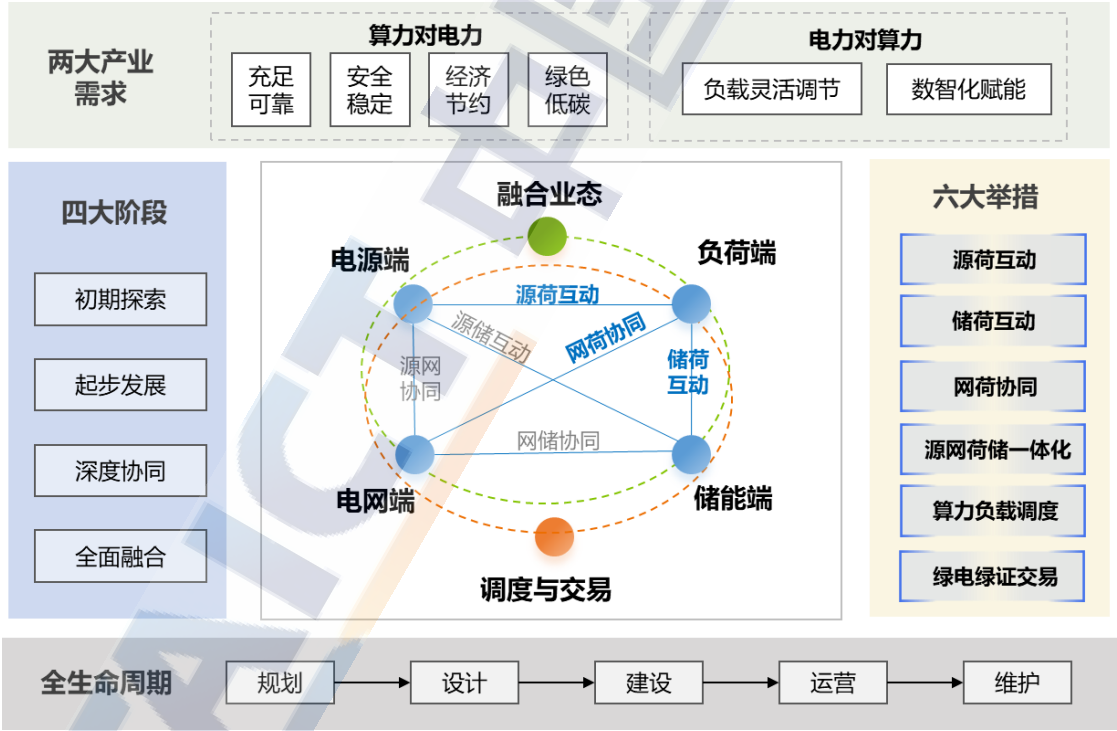
二、算力电力协同内涵、要素与发展阶段

（一）算力电力协同的内涵

算力电力协同是以新型电力系统为支撑，以算力基础设施高质量发展和全国一体化算力网建设为指引，综合考虑全要素和全生命周期，深化智能调度、源网荷储、新型供电与备电、绿电聚合供应等技术与机制创新，使算力与电力两大生产力在产业规划、生产运营、资源调度、市场体系等层面实现全局优化，打造技术先进、供需匹配、绿色

低碳、安全可靠的绿色算力中心集群，支撑电力系统灵活调节和数智化转型，共同推动数字经济与能源经济高质量发展。

在算力电力协同发展体系下，通过精准识别算力与电力产业发展中的矛盾与需求，探索创新协同的解决方案。这一协同经历了初期探索、起步发展、深度协同、全面融合四大发展阶段，覆盖了算力中心的全生命周期，从初期的规划、设计，到建设、运营与维护阶段开展全方位的协同合作，通过源荷互动、储荷互动、网荷协同、源网荷储一体化、算力负载调度、绿电绿证交易等举措，推动算力与电力两大产业实现绿色低碳、经济节约、安全可靠、创新提高的发展目标。算电协同发展体系如图 3 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 3 算力电力协同发展体系

算力电力协同是绿色算力发展的必然选择和进阶路径。作为衡量

算力基础设施绿色化程度的综合性指标，绿色算力在设备、设施、平台和应用层面的多维举措均聚焦于提高能效、降低能耗和清洁转型，这与算力电力协同的战略目标高度契合。算力电力协同深入探索了两大产业从规划、设计到建设、运营的全生命周期合作，围绕绿色电力应用加速推进算电协同领域的技术革新和业态培育，构建完善算电协同产业链，最终形成“**算力跟着能源跑、能源跟着算力跑、业务跟着绿算跑**”的发展格局。

（二）算力电力协同的要素

算力电力协同发展包含算力体系和电力体系两大关键要素。算力体系关键主体包含算力供给方、算网运营方；电力体系主要包括发电方、电网方和储能方。

算力供给方：算力资源的拥有者。是电力需求的主要来源之一，包括云服务厂商、IDC 企业、超算中心、智算中心以及拥有闲置算力的中小企业等。各算力供给主体在成本效益、企业责任等方面有不同的诉求。

算网运营方：算力传输基础设施提供者和运营者。通过高效连接算力中心节点，动态感知算力资源状态，统筹分配和调度计算任务，构建高效算力网络。通过多要素的融合、感知、控制和管理，将算力负载调度到最优资源节点。主体为中立可信的运营者，例如三大运营商和政府认可的运营企业。

发电方：绿色电力的主要供应者。通过建设光伏发电、风力发电、核电等新能源设施，发电企业能够为算力中心提供清洁、低碳的电力

供应。此外，还包括氢燃料电池等灵活发电设施，能够作为算力中心的备用电源提供应急电力。

电网方：电力传输基础设施的提供者和运营者。为算力中心提供必要的能源支持，同时通过电力需求响应、电力市场交易和电力调度等方式，促进可再生能源消纳，保障电网运行安全。

储能方：电力系统的灵活调节者。在电力系统中扮演着核心支撑角色。一方面能够参与系统调峰，在负荷低谷时充电吸收电能，在负荷高峰时放电输出电能，同时具有电源和负荷的双重属性；另一方面可以平滑新能源输出，提高新能源电力的稳定性。

（三）算力电力协同的发展阶段

算力电力协同是一个由探索到成熟、由初级到高级、由协同到融合的渐进发展过程。在这一演进过程中，算力与电力的协同程度持续深化、合作愈发紧密。从发展阶段来看，可划分为以下四个阶段，见图 4。



来源：中国信息通信研究院

图 4 算力电力协同发展阶段

1. 初期探索阶段（2020 年~2023 年）

在绿色低碳和数智化发展背景下，算力与电力体系开始探索互相之间的协同合作。算力方面，随着绿色算力发展体系的构建，算力企业致力于提高可再生能源利用率、降低数据中心用电成本。数据中心开始在园区内进行分布式光伏建设，探索绿电交易等绿色电力创新应用模式。电力方面，以加快能源产业数字化智能化升级为主要目标，以算力为支撑，探索推动能源互联网的发展。在这一阶段，尚未明确提出算力电力协同的概念，但两大体系已在多个领域展开了合作，为未来的协同发展奠定了基础。

2. 起步发展阶段（2024 年~2025 年）

在政策的大力推动下，围绕提升绿色电力应用，算力电力协同加速推进。2023 年，国家政策首次提及“算力电力协同”，将创新算力电力协同机制列为重点任务，明确提出这一阶段的目标是到 2025 年底，初步形成算力电力双向协同机制，国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过 80%。在具体措施方面，提出要建设一批算力电力协同试点示范项目，探索建立算力服务、调度、交易平台及算力市场机制，开展源网荷储一体化、绿电直供、绿电交易等实践应用，提升算力中心的需求侧响应能力。同时，各大互联网、IDC、运营商、能源企业也在积极探索算力电力协同创新应用，促进算力产业进一步转型升级。

3. 深度协同阶段（2026 年~2030 年）

算力电力协同产业链基本建成，协同机制不断完善。在这一阶段，算力中心绿电直供、源网荷储、算力负载调度等创新模式在资源适宜

地区将实现规模化应用；算电协同技术标准体系和全国统一的算力市场基本建成，算力电力协同发展体系得到不断完善；国家级算力监测调度平台搭建完成，算力与电力调度规模化协同运行；算电协同产业链逐步健全，算电协同新技术、新模式和新业态不断涌现，算力电力两大产业实现高质量协同发展。

4.全面融合阶段（2031 年及之后）

清洁能源广泛融入算电协同体系，算力与能源全面融合。面向未来，算电协同的范围将进一步扩展、内涵进一步延伸，包括氢能、地热能、核能等多元清洁能源将全面融入算电体系，推动算、电、能、碳、数等要素的有机整合和市场打通。这种深度融合不仅体现在技术层面，更将重构产业生态，最终构建起一个高效、绿色、智能的能源与数字经济融合发展新范式。

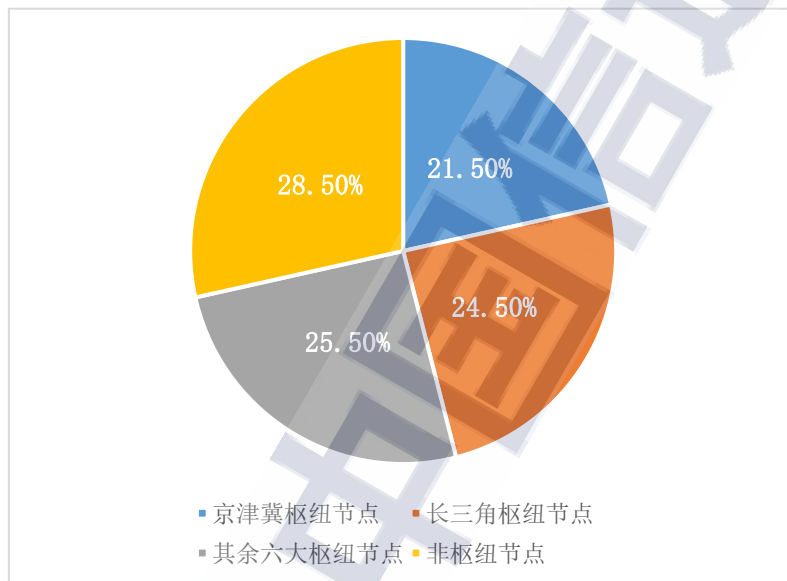
三、算力电力协同发展面临的挑战

数字经济发展和新型电力系统建设为算力电力协同发展带来了新的机遇，算力与电力产业升级激发了新需求，政策层面的支持不断释放新红利。算力电力协同正以前所未有的态势发展，但也面临着技术、产业、机制等方面的诸多挑战，亟需通过创新举措攻坚克难。

（一）算力需求及用电集聚化发展，为局部电网带来压力

随着东数西算政策推进，新建算力中心尤其是大型、超大型算力中心逐渐向八大枢纽节点转移。中国信息通信研究院数据显示，截至 2023 年底，八大枢纽节点机架数占全国七成以上，其中京津冀和长三

角在用机架数的全国占比分别为 21.5%和 24.5%，其余六大节点在用机架数的全国占比总和为 25.5%，如图 5 所示。枢纽节点内部分省市用电量将急剧增长，如张家口的数据中心用电量占全社会用电量比重已从 2019 年的 6.8%增长至 2023 年的 20.1%。枢纽节点呈现负荷集聚程度高、密度大的特点，在未来智算中心持续扩张情境下，局部地区为解决算力对电量的需求，电网扩容压力将加剧。



来源：中国信息通信研究院

图 5 2023 年我国算力中心机架布局

（二）算力供电高标准需求与负荷低负载运行现状的不平衡

算力中心对供电系统的稳定性和可靠性要求极高，通常进行供配电系统冗余设计并配置备用电源，同时基于最不利工况估算用电需求，这种做法往往导致其报装电力容量高于实际需求。此外，部分算力中心园区的实际入驻规模与招商预期存在较大差异，加之租赁业务发展缓慢，使得服务器上架率长期处于较低水平，部分服务器长期处于低

负载甚至空闲状态。上述因素共同导致算力中心在非高峰时段的服务器利用率显著偏低。据统计，部分城市算力中心的电力接入变压器年平均负载率仅维持在 30% 左右，实际电力负载与电源容量配置之间存在严重失衡。这种供需不匹配不仅造成了电力资源和基础设施的闲置浪费，还额外增加了电力系统的运行成本和维护负担。

（三）绿色电力供不应求，算力企业参与绿电交易难点多

中国电力企业联合会数据显示，2024 年全年绿电省内交易电量 2048 亿千瓦时⁷，仅占全国省内交易电量的 4.3%。据北京电力交易中心调研统计，2023 年 105 家参与绿电绿证交易的数据中心的绿色用能合计 37.88 亿千瓦时，占其总用电量的 11%；其中绿电交易量为 36.38 亿千瓦时，绿证交易量为 1.5 亿千瓦时，相比之下绿证成交量比例不高；同时该机构测算，2030 年数据中心的绿电消费需求预计将达到 3600 亿千瓦时，未来绿电绿证交易依然存在较大增长潜力⁸。

我国绿电交易增速较快但规模较小，算力企业绿电交易成交量有限。当前，算力企业参与绿电交易仍需突破以下问题与难点：东西部绿电供需不平衡，东部发达地区绿电资源相对紧张，绿电溢价较高；受到省间输送通道受限、交易时机不确定、区域市场壁垒等因素影响，跨省绿电交易存在障碍，算力企业难以购买到充足、低价的绿电；部分数据中心尚未获得参与绿电市场化交易的独立主体资格，通过运营

⁷ 孙雪霏,《逐“绿”前行,绿电交易规模持续扩大》, [http:// paper.people.com.cn/zgcsb/html/2024-02/19/content_26042524.htm](http://paper.people.com.cn/zgcsb/html/2024-02/19/content_26042524.htm).

⁸ 张显, 关于培育绿色算力的思考与建议。

管理单位参与绿电绿证交易后，由于涉及主体多、管理链条长，数据中心的绿色环境权益难以精确核定。

（四）绿电直供有待提速，源网荷储应用开发不足

早在 2021 年，国家便前瞻性地提出了绿电直供的相关概念，并有多省份响应出台支持政策，但目前国内实际落地并成功运营的绿电直供项目仍屈指可数。在数据中心领域，相关技术目前仍停留在设计建设阶段的探索，尚未有实际项目实现落地应用。园区级源网荷储一体化是绿电直供的主要实现模式，尽管绿电直供的电价更具竞争力，但集中式新能源电站占地面积较大，加之配套储能设施对土地资源的额外需求，显著推高了用地成本；绿电长距离输送所需的输电线路和变电站投资高昂，使得许多算力企业对这一模式持观望态度，需要进一步测算绿电直供带来的额外收益能否有效抵消相关投资成本。

目前，在园区级源网荷储一体化项目的投资建设中，各方主体的费用分摊机制尚不明确；同时，源网荷储相关的技术细则和标准规范仍处于空白状态，管理模式也有待进一步完善，这些因素也在一定程度上制约了绿电直供模式的发展。

四、算力电力协同发展关键举措

算力电力协同已成为行业发展的共识，涉及电源端、电网端、储能端和算力中心负荷端四侧主体，在基础设施层面，通过各主体间的两两协同与互动，有助于进一步构建源网荷储一体化的创新模式；在调度层面，通过算力负载的灵活调节能够有效优化电力资源配置；在市场层面，依托绿电绿证交易机制提升可再生能源的利用率。本章以

算力中心为研究焦点，针对当前产业发展面临的挑战，分析和探讨算力电力协同发展的关键举措，为后续相关理论研究和实践应用提供参考。

（一）源荷互动，促进电力平衡消纳低碳转型

“源荷互动”是指通过发电侧与算力中心负荷侧的双向互动，实现可再生能源的平衡消纳，其主要形式包括“荷随源转”和“源随荷建”两种。

“荷随源转”即推动具备条件的算力中心与清洁能源基地协同规划建设，缓解算力与电力资源在空间格局上的供需矛盾。我国东部地区由于经济发达、人口密集，对算力的需求较大，但同时面临能源紧张、电力成本高的挑战。相比之下，西部地区能源丰富、气候适宜，具备发展算力中心的潜力，而且西部地区可再生能源丰富，有潜力提供更绿色、成本更低的算力资源，但网络带宽相对较小，跨省数据传输费用高，这限制了其承接东部需求的能力。同时，东部地区在算力产业链上下游具有明显优势，而西部地区算力基础设施建设规模相对较小、产业生态体系不够完善，东西部算电资源供需不平衡，因此亟需引导算力与电力产业进行科学协同规划。

发挥电力价格机制引导作用，推动算力中心向可再生能源电力资源富集地区迁移，优化算力资源在全国范围内的布局，促进新能源电力的就近就地消纳和高效利用。引导算力电力协同规划布局，在风光水电等清洁能源丰富地区，鼓励开展算力中心源网荷储、微电网等试点建设；在算力需求聚集地区，充分开展分布式新能源建设和绿电交

易，科学研判算力中心扩展计划，适度超前谋划电网发展。

案例一：宁夏中卫市云计算基地

截至 2024 年 8 月，宁夏中卫市已建成大型、超大型算力中心 16 个，累计标准机架达 8.4 万架，为国内 4000 余家企事业单位提供算力服务，充分展现了算力中心与可再生能源协同建设发展的潜力。

“源随荷建”即算力企业通过自建新能源发电项目满足自身绿色用能需求。自建分布式光伏、绿电直供等新能源电力供给模式是国际规则下减少争议、提升竞争力的有效手段。在传统电网架构下，由于电力的同质性特征，电力来源在传输过程中往往难以从电网侧和用户侧明确区分。而分布式光伏、绿电直供模式则打破了这一局限，通过直接供应新能源电力的方式，使得碳排放核算变得简单明了，直接体现了新能源对环境的正面贡献，符合多数国际规则的要求，减少了因电力来源模糊而可能产生的争议。

目前，算力中心自建分布式光伏系统已成为一种相对成熟的模式，通过在算力中心本体或其附近建设光伏发电系统，将太阳能直接转换为电能，以满足算力中心的电力需求。这种系统通常安装在建筑物的屋顶、车棚或园区空地上，通过光伏组件发电供算力中心使用，具有就地建设、就地消纳的特点。目前，国内许多企业已经在算力中心实施了分布式光伏项目。腾讯天津高新云数据中心利用建筑屋面部署分布式光伏系统发电，总装机容量达 10.54MW，年发电量约 1200 万千瓦时。万国数据在上海及常熟的数据中心实现了可铺设区域光伏覆盖

率 100%。分布式光伏的成本随着产业链的发展趋势呈现出显著的下降趋势，据国金证券测算，2024 年我国工商业分布式系统初始投资成本预计将达到 2.75 元/W，且未来有望持续下降。但是由于可铺设面积有限以及各地日照资源禀赋差异，分布式光伏供电能力较为有限，仅能满足算力中心极小部分的用电需求。随着算力电力协同的深入发展，投资集中式新能源电站将成为算力中心大规模应用绿电的新模式。集中式新能源电站能有效增加用户可再生能源自给能力，这一模式一般通过源网荷储一体化或微电网项目开发，能够实现能源生产与消费的直接对接。

（二）储荷互动，挖掘算力中心回馈电网潜力

储能系统的建设可以根据其应用场景分为电源侧、电网侧和负荷侧三种储能模式。当储能建设在电源侧时，主要服务于发电企业平滑可再生能源出力、进行调峰调频，从而满足电力上网需求；当储能建设在电网侧时，主要用于保障电网的安全稳定，提升供电质量，减少电网升级和扩容的成本；当储能建设在负荷侧时，主要利用峰谷电价等价格机制获利，降低用户用电成本，同时可作为应急电力，提升用电可靠性。储能建设模式应根据其具体应用需求进行科学规划和选择。本节重点探讨储能系统在算力中心负荷侧的应用场景和价值。

“储荷互动”是指通过储能侧与算力中心侧的互动，提升算力中心用电的可靠性和经济性。一方面，储能系统可以参与电网调峰，能够有效利用峰谷电价差等市场化机制为算力企业获得经济收益；另一方面，储能系统可作为应急电源，提升算力中心用电可靠性。算力中

心储能系统整体分为两部分，一部分为服务器内部储能，另一部分是备用电源。服务器内部储能主要是利用服务器级备用电池如铅酸电池和锂电池组，在电源断开一瞬间保障服务器能够瞬间正常工作，保障算力中心的瞬时用电安全。而备用电源部分则是算力电力协同发展具有较高优化潜力的部分。当前，算力中心备用电源大多采用 UPS+柴油发电机的模式，在电源断开时，UPS 快速为算力中心进行供电，柴油发电机开始启动发电，从而可以保障算力中心在长时间内有持续不断的电力供应。但柴油发电机使用化石能源进行发电，碳排放较高，且柴油发电机作为备用电源的利用率很低，通常仅在停电状态下使用，年运行时间平均约 6 小时。因此，若采用新型储能系统或氢燃料电池等替代柴油发电机作为备用电源，不仅能够提供更加环保、高效的应急电力供应，还能够通过参与调峰等辅助服务为算力中心创造额外收益，实现经济效益与环境效益的双赢。谷歌把设在靠近法国边境 St. Ghislain 的一座数据中心的柴油发电机换成了锂离子电池。中国移动湖南株洲数据中心配套建设 90MWh 储能站，通过储能系统每日两充两放有效降低用电成本。

算力中心规模化应用储能仍需在技术优化、安全保障和成本控制等关键领域实现突破。算力中心能耗巨大，现阶段储能容量很难满足兆瓦级电量需求，储能项目的高成本也是行业发展的主要障碍之一，尽管技术进步一定程度上缓解了该问题，但初期投资和运营成本的压力依旧存在。未来需进一步研究安全性高、循环寿命长、充放电效率高、响应速度快的适用于算力中心的大容量储能系统。此外，在算力

集群间探索开展储能资源共享机制，有利于实现电力基础设施投资效益的最大化。这种共享模式不仅有助于提升储能系统的经济性，还可以通过结合园区充电桩协同运行实现资源配置优化，为构建灵活、高效的区域能源系统提供有力支撑，进一步提高储能设备的利用率。

（三）网荷协同，全面提升供配用电安全可靠

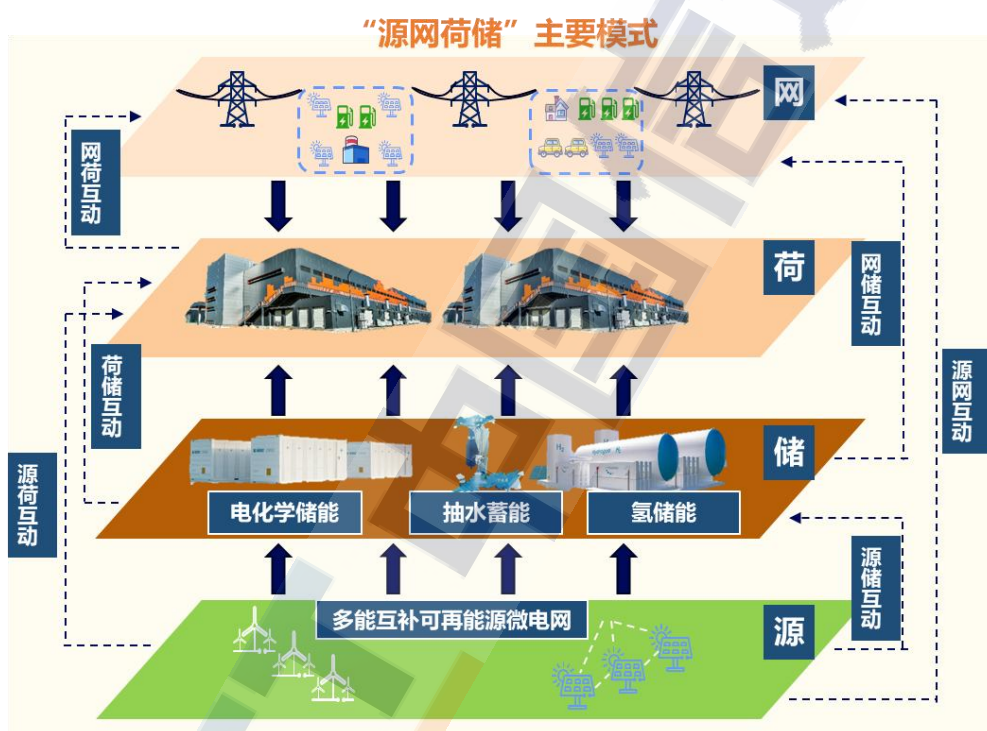
“网荷协同”是指通过电网侧与算力中心侧的深度协同，提升配电网的安全可靠性。在技术层面，推动开展针对算力中心用户的高可靠供配电网设计和技术应用，确保电力供应的稳定性和安全性。中关村科学城数字能源城市综合体项目通过 10kV 柔性直流供电双环网结合柔直开闭站的供电架构，有效提高算力中心供电可靠性。在机制层面，算力中心与电网企业需协同商定科学的电力报装模式，通过前置沟通建设计划，引导算力中心合理设置报装容量。

算力通过深度赋能电力系统“发-转-储-用”全环节，助力电网实现数字化、智能化运行。随着能源互联网和虚拟电厂概念的提出，未来的电网技术及产业将全面转向数智化发展。在新型电力系统构建过程中，面对新能源广泛接入带来的多元主体以及复杂的运行环境，迫切需要依托算力赋能电网生产经营，推动数字化应用模式由常规感知计算向知识服务、生成式智能转变。国网浙江杭州公司应用 5G+算网融合技术，实现了杭州电网海量数据存储、高效互动决策和分散资源调度的供能。协鑫智算（苏州）中心聚焦于能源领域的大模型训练及数字能源系统开发，面向能源垂直行业应用场景提供算力服务。通过将人工智能、信息技术、控制理论等前沿科技与电力系统深度融合，将

为电力系统的数字化、信息化和智能化发展提供强有力的支撑。

（四）源网荷储，推动算力电力深度一体融合

算力中心源网荷储一体化旨在通过整合电源侧、电网侧、负荷侧和储能侧资源，实现能源的高效利用和优化配置。源网荷储一体化可在园区（居民区）级、市（县）级和区域（省）级三种不同层级上实施。



来源：根据互联网公开资料整理

图 6 源网荷储一体化原理图

在园区级层面，源网荷储一体化结合分布式发电、并网型微电网和充电基础设施等，开展分布式发电与用电负荷灵活充放电相结合的运行模式。园区级源网荷储一体化项目的特征是以负荷为中心配置新能源发电站，以绿电直供模式为算力中心供能，实现可再生能源的就

近就地消纳。园区级一体化项目原则上由同一主体负责建设及运营，具有投资成本高、建设门槛高的特点。目前，算力中心领域已有多家企业积极探索园区级一体化项目的设计建设。广西来宾新能源数据中心正探索以风电为主电源的源网荷储一体化建设。中金数据正在内蒙古乌兰察布建设中金数据源网荷储一体化项目，采用主动配电网、高效机房、可再生能源利用等手段，探索建设低碳算力基地。

案例二：青海三江源国家大数据基地

青海大力推进源网荷储一体化建设项目，正在西宁-海东试点集聚区内有序开展源网荷储一体化项目建设，青海联通立足青海三江源国家大数据基地，打造经济高效的数据中心源网荷储一体化解决方案。

在区域级和市（县）级层面，新能源电站与算力中心异地建设，新能源发电直接并入公共电网，由电网统一调配向用户供电，算力中心通过绿电绿证交易等机制锁定发电绿色权益，构建起源网荷储灵活高效互动的电力运行与市场体系。这一模式具有选址灵活、运行成本低、新能源供电稳定性高等优势，同时其推行更依赖于地方政府、区域电网、电力市场的多方协同与配合。目前，多家算力企业已开展市（县）级源网荷储一体化模式建设与运营。合盈数据已在张家口建设 5.53GW 的新能源发电项目，通过电力市场化交易确保电能量与绿色环境权益转移到合盈数据（怀来）科技产业园的算力中心使用。阿里巴巴在张北投资建设了 200MW 的风电站，该风电站与其数据中心项目通过同一上级变电站相连，实现在同一电网台区内就近消纳绿色电

力。

（五）算力负载调度，精准匹配算电时空供需

算力负载调度的核心在于通过电力市场信号引导算力中心用户灵活调整算力负载的执行时间和地点，从而增强电力系统的运行灵活性，同时降低算力中心的用能成本。与仅具备时间维度调节能力的常规负荷不同，算力中心可以通过算力网络将负载转移到其他服务器上运行，是一种兼具时间和空间调节潜力的特殊柔性负荷。如果能够充分利用这一特殊灵活性，将实现算力任务与电力资源的跨时空协同，利用数据网络的负荷转移改变电力网络中的负荷分布，深度参与电网经济调度、机组组合等运行规划过程。

当前国内外公司都在积极探索算力负载调度技术的应用实践。谷歌公司开发了一种新型的碳智能计算平台，旨在通过优化计算任务的时间来减少碳排放；该平台利用获取的各国和地区电力能源结构及碳强度数据，选择在低碳能源供应充足的时间或空间上执行计算任务，从而实现计算任务与低碳电力供应的最佳匹配；此外，谷歌还通过其碳智能计算管理系统，允许灵活的工作负载在非紧急情况下延迟执行，并在碳排放较低的时间段运行，以进一步降低碳足迹。蚂蚁集团通过绿色观测和优化体系持续探测工作负载的资源消耗并进行资源优化，在不同的时间段把资源分配给需要的应用，限制不在流量峰值的应用资源使用，从而极大地提高资源效率；通过弹性算力统一调度、性能优化等，提升系统性能，结合蚂蚁自身业务需求，着重对存储工作负载、AI 智能计算工作负载以及在线工作负载进行了优化等。

案例三：阿里巴巴跨区域“算力-电力”优化调度项目

阿里巴巴与华北电力大学合作开展的可再生能源消纳驱动的数据中心“算力-电力”优化调度项目以试运行方式参与了华北电力调峰辅助服务市场，该项目在电力系统调峰信号的引导下，将阿里巴巴位于江苏省南通数据中心的部分算力负载转移至河北省张北数据中心，实现了数据中心和电力系统以促进可再生能源消纳为目标的协同调度，也是国内首次跨区域“算力-电力”优化调度验证实验。

算力负载调度的前提是对算力中心负载用电特性的精准预测。算力负载调度需要在综合分析了算力中心负荷曲线、能耗情况、电网需求等多维度数据的前提下开展，因此需要建立不同类别、功能和场景下算力负载的用电负荷模型，准确刻画和定量评估算力资源的调节潜力。同时，新能源发电受天气因素影响，也存在较大的波动性和不确定性。为了更好地匹配算力负荷特性与新能源出力特性，还需要加强对新能源发电特性的预测。

算力负载调度平台将成为多元异构算力跨时空调度的基础。在中国算力平台的工作基础上，加快建设和完善算力负载调度平台，推动算力中心加入算力资源监测与管控系统，夯实算力资源调度基础，形成一体化算力基础设施调度体系，解决在算力资源、交易定价等方面的商业机密安全性的问题，提升算力资源区域协同、灵活调配能力。制定科学合理的算力负载调度策略，建立对于异构算力整体有效的调度机制，在确保训练和推理业务顺利进行的前提下，配合新能源出力

曲线进行精准调度，实现算力电力供需的动态平衡。建立电力与算力联动的价格激励机制，通过提升算力中心参与负载任务调度的经济收益，激发算力企业的积极参与和响应。

（六）绿电绿证交易，提升算力中心绿电应用

购买绿电绿证是算力企业通过市场化交易提升可再生能源利用率的重要方式。其中，绿证交易是以可再生能源绿色电力证书为标的物的金融性交易。我国可再生能源绿色电力证书简称绿证，是国家对发电企业每兆瓦时可再生能源电量颁发的具有唯一代码标识的电子凭证，是可再生能源电力生产、消费和环境属性认定的基础凭证。通过绿证交易，算力企业能够在不直接购买绿电的情况下，获取可再生能源的环境属性，声明自身的绿电履约。绿色电力交易是以绿色电力产品为标的物的电力中长期交易，交易电力同时提供国家规定的绿证。绿电交易采用“证电合一”方式，实现了绿电物理属性和绿色环境属性的统一。绿电交易按照交易周期分为电力中长期交易和电力现货交易两种形式。

中长期交易是当前算力企业参与购买绿电的主要交易形式。中长期交易主要是指符合准入条件的发电企业、售电企业、电力用户和独立的辅助服务提供商等市场交易主体，通过自主协商、集中竞价等市场化方式，开展的多年、年、季、月、周等日以上的电力交易。现阶段的中长期交易主要按年度和月度开展。算力企业通过签署中长期购电协议（PPA）提前锁定稳定且成本可控的绿电资源。据彭博新能源财经统计，2024 年仅前两个月，谷歌、微软就分别宣布签署 609 兆瓦

和 295 兆瓦的可再生能源购电协议。Digital Realty 与法国可再生能源公司 Engie 签署了一份长达 10 年的太阳能购电协议，并承诺将每年承购 120GWh 电力。在中国电力企业联合会等机构最新发布的“2023 年中国绿色电力（绿证）消费 TOP100 企业名录”中，多家互联网、IDC、运营商和设备商企业均名列其中，包括阿里巴巴、中国电信、腾讯、华为、万国数据、讯云数据等。算力企业通过签署长期绿电购买协议，保障可再生能源电量高性价比稳定供应。

案例四：世纪互联苏州市太仓大数据产业园项目

世纪互联苏州市太仓大数据产业园项目依托雁淮直流、锡泰直流等跨区域电力通道与山西、内蒙等地开展大规模省间绿电交易，同时与省内多家发电主体开展绿电 PPA 协议。

现货交易是指以开展日前及更短时间内的、以短时和即时电力交易为主的市场。现货交易市场是一种公开市场交易形式，其优势在于灵活性高，企业可以根据实际需求在短期内频繁参与交易，及时调整用电计划，适应市场变化。但现货市场交易价格和电量的不确定性较高，企业在进行现货交易的同时一般仍需结合中长期交易以保障电力供应稳定。随着我国电力现货交易市场的逐步建立和持续完善，算力企业也在积极探索绿电现货交易市场的机会。我国已有多个省份和地区建设了电力现货交易市场，目前，山西、广东、山东和甘肃等地的现货市场已正式运行，为算力企业提供了更多选择。深圳电信自 2022 年开始全量进入电力市场进行现货直购电交易，并以电费划扣方式开展绿电交易，用于深圳电信内部数据中心。绿电现货交易极大简化了

绿电交易流程，提高了交易的便捷性。

为进一步扩大算力企业的绿电绿证交易规模，未来仍需将更多新能源发电项目纳入交易范畴，促进市场主体构成的多元化。探索算力企业参与分布式新能源聚合绿电交易等创新机制，推动数据中心单独计量并进入电力交易市场。通过适度简化算力中心参与绿电交易的流程，缩短算力中心绿电交易周期，提升交易机制的效率和灵活性，降低企业参与门槛，构建更加完善、高效的绿电绿证交易市场。

五、算力电力协同发展建议

（一）强化算电协同政策支撑

完善算力电力协同发展的体制机制。当前我国算力电力协同发展处于起步期，虽然国家和地方已纷纷发起算电协同的发展倡导，但仍缺乏具体的实施路线和评价方法。下一步，应深化体制机制优势，多部委联合完善算力电力协同发展机制，统筹构建算力电力协同发展路径。**建立跨部门的工作协调机制。**确保算力电力各领域的政策协同和资源整合，积极推进标准在相关重点领域和重点企业中的应用，加强电力系统与算力基础设施的互联互通，积极引导算电协同创新体系建设。**建立多元化资金支持渠道。**充分发挥财政资金的激励作用。丰富财政资金的投入方式，设立算力电力协同发展基金，撬动社会资本投资算力电力协同。通过对开展算电协同项目的企业提供财政补贴或税收优惠政策，激励行业开展算电协同的创新研究。

（二）构建算电协同标准体系

加快制定算力电力协同标准规范。当前算力电力协同相关标准规

范仍属空白，相关术语、定义等基础概念尚不明确，亟需构建算电协同标准体系，制定面向算电协同的源网荷储一体化建设、供配电技术、算力负载调度等技术要求标准；编制算力中心能源计量、利用效率测试等标准；并参与相关国际标准的编制。**建立算电协同评价体系。**明确算力中心算电协同的评价维度，制定算电协同的分类分级测评方法；完善与标准相匹配的检测认证体系，为行业开展算力电力协同提供规范和指导。

（三）培育算电协同产业生态

推进算力电力协同关键技术与核心装备攻关。提出算力电力协同关键技术和核心装备清单，加强对算力中心源网荷储、高可靠供电、算力负载调度技术攻关研究，鼓励面向算力中心的新型储能产品、新能源发电设备研发与应用。**鼓励算力电力双方加强创新研发与合作，加快相关技术和产品应用落地。**建立产学研用合作机制，打通算力电力协同产业生态链，开展算力中心绿电直供、源网荷储、负载调度等方面的技术与试点示范。支持产业联盟、行业组织的发展，通过汇聚设备商、运营商、科研院所等主体的人才和技术资源，完善算电协同产业支撑配套服务，加强与国际相关机构和组织的交流与沟通，提升我国在算电协同领域的国际影响力。**培育算力电力协同解决方案的供应商。**鼓励相关产业的创新发展，支持一批具有人才、技术、资金优势的企业，推动形成算电协同技术研发、设备制造、系统集成和运营服务等方面的解决方案供应商，促进算电协同创新产业的规模化发展。

（四）营造公平高效市场环境

推动建立公平、透明、高效的市场交易规则和机制。建立全国统一算力市场，出台税收优惠、资金补贴、绿色信贷等激励政策，鼓励各主体参与算力交易市场。优化和完善数据中心绿电交易规则，推动数据中心独立入市，扩大绿电供应规模，逐步提高数据中心绿色电力消纳比例，塑造我国算力低成本、低碳排的核心竞争优势。开发部署算力电力协同交易平台，全面实现电力、算力资源的可观、可测和可控。充分发挥市场的引导作用。建立算力与电力协同的价格机制，针对算力中心制定分时电价、峰谷电价等价格激励制度，有序引导计算任务随新能源出力情况合理分布执行。算力中心直接参与或通过负荷聚合商参与不同时间尺度的电力需求响应，从而获得价格补偿。建立健全市场监管体系，防范市场风险，确保市场的稳定和健康发展。

中国信息通信研究院 云计算与大数据研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300095

传真：010-62300095

网址：www.caict.ac.cn

